

Zahnärztliches Institut der Universität Zürich
Abteilung für Prothetik II
Vorstand: Prof. Dr. med. dent. P. Schärer

Arbeit unter Leitung von Prof. Dr. L. Castagnola
und Prof. Dr. J. Wirz

**Vergleichende Untersuchungen von synthetischen
und konventionellen Gipsen, sowie dem Einfluss
von Trimmerwasser auf deren physikalische
Eigenschaften.**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

RUDOLF A. NIEVERGELT
von Zürich

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. P. Schärer

Zürich 1979

1980



Juris Druck + Verlag Zürich



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Zahnärztliches Institut der Universität Zürich
Abteilung für Prothetik II
Vorstand: Prof. Dr. med. dent. P. Schärer

Arbeit unter Leitung von Prof. Dr. L. Castagnola
und Prof. Dr. J. Wirz

**Vergleichende Untersuchungen von synthetischen
und konventionellen Gipsen, sowie dem Einfluss
von Trimmerwasser auf deren physikalische
Eigenschaften.**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

RUDOLF A. NIEVERGELT
von Zürich

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. P. Schärer

Zürich 1979



Juris Druck + Verlag Zürich



INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	5
2.	MATERIAL	6
2.1.	Chemische Zusammensetzung	6
2.2.	Abbindevorgang	7
2.3.	Spezifikationen	7
3.	BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN	9
3.1.	Volumenverhalten	9
3.2.	Druckfestigkeit	10
3.3.	Abbindezeit	10
3.4.	Schabfestigkeit	11
3.5.	Trimmerwasser	11
4.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	12
4.1.	Untersuchte Produkte	12
4.2.	Allgemeine Prüfungsbedingungen	13
4.2.1.	Klima	13
4.2.2.	Herstellung des Trimmerwassers	13
4.2.3.	Mischen	14
4.2.4.	Mischverhältnisse	15
4.2.5.	Konsistenz	16
4.3.	Spezifikationen, Methoden und Resultate	16
4.3.1.	Druckfestigkeit	16
4.3.2.	Biegefestigkeit	19
4.3.3.	Kugeldruckfestigkeit	22
4.3.4.	Abbindezeit	25
4.3.5.	Expansion linear	30
4.3.6.	Detailwiedergabe	34
4.3.7.	Abrasionsversuche	40
4.3.8.	Dimensionsänderung in 2 Wochen	50

5. VERPACKUNG	53
6. ZUSAMMENFASSUNG	54
6.1. Mischarten	54
6.2. Abrasionsfestigkeit	55
6.3. Vergleich synthetische - konventionelle Gipse	55
7. LITERATURVERZEICHNIS	57

1. EINLEITUNG

Die grosse Bedeutung, welche die Gipse als Werkstoffe zur Anfertigung zahnärztlicher Modelle erlangt haben, beruht einerseits auf den günstigen Anschaffungskosten und andererseits auf ihrer problemlosen Handhabung und Verarbeitung.

Die hohen Anforderungen in Bezug auf Präzision und mechanische Widerstandsfähigkeit, die an ein Modellmaterial, insbesondere in der zahnärztlichen Prothetik gestellt werden, konnten in früheren Jahren nur mit hochwertigen, in natürlichen Lagern vorkommenden Rohmaterialien unter Zuhilfenahme von speziell verfeinerten Herstellungsmethoden befriedigt werden.

Neuere Erkenntnisse ermöglichen heute eine relativ kostengünstige Erzeugung hochwertiger Gipse. Diese Gipse stehen im Handel unter der Bezeichnung "Synthetische Gipse". Ein Vergleich dieser modernen, synthetischen Gipse gegenüber den konventionellen natürlichen Gipsen in Bezug auf ihre Verarbeitung und physikalischen Eigenschaften auf Grund von Materialprüfungen im Labor war dieser Arbeit als Ziel zu Grunde gelegt. Insbesondere interessierte, wieweit die chemisch/physikalischen Eigenschaften dieser beiden Gipssorten durch abgeänderte und modifizierte Verarbeitungsmethoden beeinflussbar sind.

2. MATERIAL

2.1. Chemische Zusammensetzung

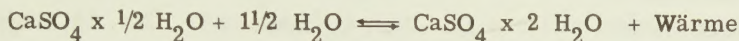
Das Rohmaterial für die konventionellen zahnärztlichen Gipse stammt aus natürlichen Gipslagern. Je nach dem Anteil an gebundenem Wasser, wird der Gips in Dihydrat ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$), das in der Natur vorkommt, und Hemihydrat ($\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$), das durch Wasserentzug entsteht, eingeteilt. Die Kristallform des Hemihydrats beeinflusst unter Anderem die Eigenschaften des, nach der Beimengung von Wasser, wieder entstehenden Dihydrats. Ersteres wird deshalb unterteilt in Beta- und Alpha-hemihydrat.

- Das Betahemihydrat wird durch Erhitzen von Dihydrat auf etwas über 120°C in offenen Behältern (sog. Brennen) erhalten. Das dabei als Dampf entweichende Wasser reisst die Gipspartikel auseinander und es entstehen unregelmässige, schwammartige Teilchen.
- Um Alphahemihydrat zu gewinnen, wird derselbe Vorgang bei Ueberdruck im Autoklaven durchgeführt, wobei eher nadelförmige Kristalle entstehen, die nachher dem Dihydrat grössere Härte verleihen. Wird das Dihydrat vorgängig gemahlen und z. B. mit CaCl_2 (ca. 30%) und KCl (1%) aufgeschlämmt, entstehen Kristallformen, die diesen Effekt verstärken (20, 3).

Bei den synthetischen Gipsen stammt das Dihydrat von der Phosphorsäuregewinnung aus Naturphosphat und Schwefelsäure. Der als Abfall mitproduzierte und meist stark verunreinigte Dihydratschlamm kann im Autoklaven, bei Anwesenheit von kristallisationsbeeinflussenden Substanzen und bestimmtem pH-Wert, zu Alphahemihydrat umgewandelt werden. Die Kristalle müssen aber für bessere Festigkeit des Gipses noch zusätzlich vergrössert werden. Das geschieht entweder durch portionenweise oder kontinuierliche Zugabe von aufgeschlämmtem Dihydrat zum bereits gewonnenen Hemihydrat, oder auch durch Beeinflussen der Umkristallisation mittels Temperaturvariation (5).

2.2. Abbindevorgang

Die Verbreitung von Gips als Dentalwerkstoff beruht auf der relativ einfach durchzuführenden Umwandlung von Hemi- in Dihydrat. Dies lässt sich stöchiometrisch wie folgt darstellen:



Bei einem Lösungsverhältnis von Hemi- zu Dihydrat von ca. 4:1 fällt in einer Hemihydrataufschwemmung laufend Dihydrat aus, dessen Kristalle sich, von sogenannten Nuclei aus wachsend, untereinander verfilzen. Gemäss obiger Gleichung wird für die Reaktion bei 100 g Hemihydrat 18,6 ml Wasser benötigt. Das wegen der Fliessfähigkeit des Gipses zusätzlich beigegebene Wasser hinterlässt beim Aushärten des Gipses Hohlräume. Mit zunehmender Wassermenge verschlechtert sich die Druckfestigkeit, verlängert sich die Abbindezeit und verkleinert sich die Abbindeexpansion (3,20). Durch Beigabe von sogenannten Stellmitteln (meist Salze wie NaCl, CaCl etc.) lassen sich diese Eigenschaften beeinflussen. Eine weitere Möglichkeit dazu wird durch Verwendung von Dihydrat-Aufschwemmung, anstelle von reinem Wasser, gegeben, wobei das Angebot von Kristallisationszentren (zumindest anfänglich) erhöht wird.

2.3. Spezifikationen

Grundlage für die werkstofflichen Untersuchungen sind sowohl die DIN (13911)- als auch die ADA-Spezifikation 25,1973.

Sie werden im Kapitel "Eigene Untersuchungen" jeweils im Zusammenhang mit den Versuchen besprochen.

Anforderungen für Hart (Typ III)- und Spezialhartgipse (Typ IV):

Nach DIN

Typ III

Typ IV

Abbindeexpansion

0,20% linear

0,15% linear

Biegezugfestigkeit

61 kp/cm²

71 kp/cm²

Härte nach 24 h

7,13 kp/mm²

12,2 kp/mm²

(Kugeldruck)

Nach ADA

Typ III

Typ IV

Abbindeexpansion (lin.)

0,20%

0,10%

Abbindezeit

10 $\pm$ 3 min

10 $\pm$ 3 min

Druckfestigkeit

210 kp/cm²

350 kp/cm²

(nach 1 h)

3. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Volumenverhalten

Gemessen wird gewöhnlich nur die lineare Abbindeexpansion, obwohl sich der Gips beim Austrocknen wieder leicht kontrahiert (22). Die Expansion tritt auf, wenn die Kristalle, von verschiedenen Kristallisationszentren ausgehend, sich berühren und beim weiteren Wachstum voneinander wegdrücken (3,19). Jörgensen zeigte, dass die Abbindeexpansion positiv mit der Anzahl von Kristallen pro Raumeinheit Gips und mit deren Summe der Endflächenperipherien korreliert ist. Sie ist jedoch unabhängig von der Mittellänge der Kristalle, dem Endflächenmass (rechtwinklig zur Länge projizierte Fläche) und der Summe von Breite, Dicke und Länge. Er schliesst nicht aus, dass thermodynamische Bewegungen in den Grenzflächen zwischen zusammengewachsenen Gipskristallen die Expansion verursachen; solche Bewegungen können eine Diffusion von Molekülen und Ionen in das weniger regelmässige Grenzflächengitter hinein mit sich bringen und so dasselbe expandieren. Die Morphologie der Kristalle wurde durch Stellmittel, die die Expansion regulieren, kaum beeinflusst (12).

Längeres und intensiveres Mischen des Gipsbreis vergrössert die Expansion, was nach der oben erwähnten Theorie durch eine vergrösserte Anzahl von Kristallisationskeimen erklärt werden kann. Mehr Wasser zum Gipspulver verkleinert die Expansion (20), dies soll ebenso bei Verwendung von Trimmerwasser auftreten. Dabei sank die Expansion mit zunehmender Konzentration des Trimmerwassers (18). Dies würde demnach heissen, dass trotz Beigabe von Kristallisationskeimen die Zahl der Kristalle oder die Summe deren Endflächenperipherien eher absinkt, oder aber ein anderer, nicht näher bekannter Einfluss ausgeübt wird.

Der Gipsbrei kann zur Expansionsmessung auf ein Quecksilberbad gegeben oder in demontierbare Formen gegossen werden, die bei beginnender Expansion entfernt werden (8). Es kann eine V-förmige Rinne, entweder mit Kofferdam (ADA) oder mit Kunststoffolie (DIN) ausgelegt, be-

nützt werden. Die Messung erfolgt entweder durch mechanisches Abtasten (z.B. Messuhr) oder mittels Messmikroskop und im Gips eingebrachten Markierungen. Bei der Methode nach DIN muss der Gips Arbeit leisten, indem ein 200 g schwerer Metallwürfel zu verschieben ist.

3.2. Druckfestigkeit

Je weniger Wasser zum Pulver gegeben wird, um so härter wird der Gips (20).

Die durch Druck belastete Fläche kann entweder durch die Dimension des Probekörpers (Zylinderstirnfläche) oder durch das druckerzeugende System (Stempel, Kugel) definiert werden. Der Austrocknungsgrad des Probekörpers spielt hier eine wesentliche Rolle, weshalb zwischen nasser und trockener Druckfestigkeit, mit festgelegten Lagerungszeiten und -bedingungen unterschieden wird. Trockene Proben haben etwa die doppelte Druckfestigkeit (7).

Im Prinzip ähnliche Eigenschaften beschreibt der Biegezugfestigkeitstest, wo Gipsstäbe zwischen zwei Auflagerollen bis zum Bruch belastet werden. Hänel (11) fand, dass die Druckfestigkeit nicht streng mit der Biegezugfestigkeit korreliert ist. Bei Earneshaw (7) wirkte sich das Wasser-Pulver-Verhältnis in seinen indirekten Zug/Drucktests stärker auf die Druck- als auf die Zugfestigkeit aus. Das Verhältnis der Druckfestigkeiten von hartem (Stone) zu weichem Gips (Plaster) war ca. 10:4, das der Zugfestigkeiten 10:7.

3.3. Abbindezeit

Die Zeit von Mischbeginn bis zum Anfang des Aushärtens wird nach folgenden Methoden gemessen:

Nach Gillmore (Penetrationstest mit 2 verschiedenen Nadeln – Initial und Final Setting Time) und nach Vicat (nur 1 Nadel), ist die Abbindezeit erreicht, wenn die Nadel nicht mehr in den Gipsbrei einsinkt.

Nach Lautenschlager (15), der im Röntgendiffraktometer die verschiedenen Spitzen von Dihydrat und Hemihydrat zur Abbindezeitmessung benützte, ist der nach der Penetrationsmethode ermittelte Wert zu klein.

Franz (10) misst den bei Erhärtungsbeginn abrupt abfallenden elektrischen Widerstand des Gipsbreis.

Die bei Wirz, Castagnola u. Gilomen (21) erwähnte Methode, bei der ein Messerchen durch den Gipsbrei gezogen wird, misst weniger die "präzise" Abbindezeit, sie zeigt vielmehr die Charakteristik des Abbindens.

3.4. Schabfestigkeit

Wirz et al (21) beschreiben eine Methode, wonach eine an einem Taster fixierte Stahlkugel unter Last auf der Gipsoberfläche hin und her gezogen wird und sich dabei eingräbt. Gemessen wurde dann die Rillentiefe. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Kugel weniger ein schabendes als ein reibendes Instrument ist. Nicht bekannt ist ferner der Einfluss der losgelösten Gipspartikel, die sich unter der Kugel ansammeln können.

3.5. Trimmerwasser

Kobes und Narita haben eine Reihe von Gipsen auf den Einfluss von Alabaster-Trimmerwasser untersucht und festgestellt, dass damit, neben der oben erwähnten Reduktion der Abbindeexpansion, eine wesentliche Verkürzung der Abbindezeit erreicht werden kann, ohne andere Eigenschaften zu verschlechtern (18).

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

4.1. Untersuchte Produkte

Auf Grund einer Umfrage bei verschiedenen Dentaldepots und Schweizer Zahnärzten wurden folgende Produkte ausgewählt:

Name, (Abkürzung)	synthetisch/ konventionell	Hersteller (H) Lieferant (L)
Diamant Hartgips (DIA)	konv.	H: Ludwig Böhme K.-G. Bad Sachsa/Harz/D L: Real Med AG Arlesheim CH
Fuji Rock (FUJ)	konv.	H: G-C Dental Industrial Corp./Tokyo/Jap. L: Fuji Dental Import AG/ Zürich/CH - früher bezogen durch: H. Breitschmid Kriens/CH
Super Die (SUP)	konv.	H: Whip Mix Corp. Louisville/Ky/USA L: R. Vix AG Basel/CH
Tru Stone (TRU)	konv.	H: Modern Materials St. Louis/Mo/USA L: Kenzler Kaschner Dental Ellwangen/D
Vel Mix Stone (VEL)	konv.	H: Kerr S. A. Scafati/USA
Duricap rot (DUR)	synth.	L+H: Ivoclar Schaan/FL
Ferodur (FER)	synth.	L+H: E & H Renfert Singen-Hohentwiel/D
Rapidur (RAP)	synth.	H: Dentaforum Pforzheim-Ispringen/D L: Medidenta Dentaldepot St. Gallen/CH
Synthostone (SYN)	synth.	L+H: R. Vix AG Basel/CH

Tewestone (TEW)

synth.

H: A. Kettenbach GmbH
Eschenburg / D
L: Kölliker & Co
Zürich / CH

Das Material wurde in den Originalbehältern zu 5 bis 8 kg, wie sie im Handel erhältlich sind, angeliefert (ausgenommen Duricap, das in Kapseln vordosiert ist). Von "Super Die" wurde nur eine Probepackung bezogen, da es einzig als Vergleichsmaterial bei der Prüfung der Oberflächenhärte untersucht wurde.

4.2. Allgemeine Prüfungsbedingungen

4.2.1. Prüfklima (DIN)

Die Lufttemperatur soll $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$, die relative Luftfeuchtigkeit $50 \pm 3\%$ betragen. Zum Mischen soll destilliertes Wasser von $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ benutzt werden. Gips und Geräte sind vor Prüfbeginn 10 h lang im Prüfklima zu lagern. Die Prüfungen müssen vor dem Endverbrauchsdatum abgeschlossen sein.

Die relative Luftfeuchtigkeit betrug hier abweichend von der DIN-Spezifikation: $55 \pm 5\%$.

4.2.2. Herstellung des Trimmerwassers

Es wurden 2 h alte Gipsblöcke unter Wasserberieselung mit einem Modelltrimmer zerschliffen und das Trimmerwasser aufgefangen. Nach einer Woche, während der sich die Dihydratpartikel sedimentieren konnten, wurde das klare Wasser abgeleert und vom zurückbleibenden Konzentrat durch Einwiegen die Konzentration des Gipses in Gewicht pro Volumen Flüssigkeit bestimmt.

Die Berechnung erfolgte nach folgender Formel:

$$\frac{x}{2,35} + \text{Vol H}_2\text{O} = a$$

$$x + \text{Gewicht H}_2\text{O} = b$$

wobei x: Gewicht des Gipses
 a: Volumen des Konzentrates
 b: Gewicht des Konzentrates
 2,35: spez. Gewicht von Gips
 (Gewicht H₂O) = (Volumen H₂O)

Das Konzentrat bestand demnach aus 60 g Gips pro 100 ml (60%). Durch Verdünnen mit Leitungswasser wurden die für die Versuche benötigten Konzentrationen hergestellt (5% u. 10%). Mit Trimmerwasser wird in der Folge die auf solche Art gewonnene Aufschwemmung von Diamant Hartgips bezeichnet, in den Tabellen abgekürzt "Tw" oder nur mit den Zahlen 5 resp. 10 gekennzeichnet. Vereinzelt wurde auch Trimmerwasser eines anderen Gipses verwendet, dies wird aber speziell vermerkt.

Eine weitere Methode zur Herstellung einer Dihydrataufschwemmung bestand darin, Hemihydrat unter ständigem Umrühren in Wasser zu nadelförmigen Dihydratkristallen umzuwandeln. Wegen der schlechten Ergebnisse bei den Druckversuchen (Druckfestigkeit bis 50% reduziert), sowie des Verlustes der Fliessfähigkeit des Gipsbreies und der komplizierten Herstellung, wurde diese Methode nicht weiter verfolgt.

Das Trimmerwasser wurde in Literflaschen aufbewahrt und vor dem Gebrauch durchgeschüttelt; es ist aber dennoch anzunehmen, dass wegen der schnell sedimentierenden grösseren Teilchen die Zusammensetzung nicht immer konstant blieb. Die letzten 0,2 l wurden jeweils nicht mehr verwendet.

4.2.3. Mischen

Gemäss DIN-Spezifikation wurde die Gipsmenge abgewogen und in das dest. Wasser gestreut, wobei die Einstreudauer max. 10 sec. und die Sumpfdauer 20 sec. betrug. Danach wurde 30 sec. mit einem mechani-

schen Rührgerät gemischt. Das hier benützte Mischgerät arbeitet mit ca. 350 Upm, der Mischbecher kann evakuiert werden (Multivac, Fa. Degussa; Vertrieb durch die Fa. Cendre & Metaux, Biel). Vor dem Inbetriebsetzen des Mischapparates muss der Gipsbrei von Hand durchgerührt werden, um zu verhindern, dass im Drehpunkt des Mischblattes Gipspulver unberührt stehen bleibt.

Bei Verwendung von Trimmerwasser muss wegen der kurzen Verarbeitungszeit die Mischdauer auf 15 sec. reduziert und die Sumpfzeit weglassen werden. Von Hand wurde nach ADA-Spezifikation mit einem Spatel 1 min. lang mit ca. 120 Umdrehungen gemischt.

4.2.4. Mischverhältnis

Es wurden weitgehend die vom Hersteller angegebenen Wasser-Pulververhältnisse benützt.

Beim Trimmerwasser musste aus arbeitstechnischen Gründen z. T. mehr Flüssigkeit beigemischt werden; vorallem bei der 10% Aufschwemmung war ein verschlechtertes Fließvermögen festzustellen.

<u>Tab. 1:</u>		Mischverhältnisse (ml Flüssigkeit pro 100 g Pulver)		
	aqua dest	5% Tw	10% Tw	Herstellerangaben
DIA	30	31	32	28-30
FUJ	20	20	21	20
SUP	23	23	24	20-22 (zu dick)
TRU	25	25	25	an Konsistenz von VEL angepasst
VEL	23	23	24	22-25
DUR	Kapsel dosiert			
FER	23	23	24	22-24
RAP	23	23	24	21-23
SYN	23	23	24	22
TEW	23	23	24	22-24

4.2.5. Standartkonsistenz

Obwohl die Bestimmung der Standartkonsistenz hier nicht berücksichtigt wurde, soll kurz darauf eingegangen werden. Die DIN-Spezifikation beschreibt eine Methode, wonach die Eindringtiefe einer aus 250 mm frei fallenden, 10 g schweren Metacrylatkugel von 25 mm Durchmesser im Gipsbrei bestimmt wird.

4.3. Spezifikationen, Methoden und Resultate

4.3.1. Druckfestigkeit

- Spezifikationen:

Bei der Druckfestigkeitsprüfung nach DIN wird ein Gipsprisma von ca. 80 mm x 40 ± 0,1 mm durch einen Stempel von 62,5 mm Breite belastet. Das ergibt eine Fläche von 25 cm². Die Kraft wird pro sec. um 100 Kp gesteigert, es wird nach 24 h ab Mischbeginn gemessen.

Nach ADA werden Gipszylinder von 20 mm Durchmesser und 40 mm Höhe von einem vertikal geführten Stempel belastet. Die max. Aufladerate beträgt 300 ± 50 kp/min, gemessen wird 1 h nach Mischbeginn.

- Prüfkörperherstellung:

In zweiteiligen, verschraubten Kunststoffformen wurden Gipszylinder von 20 mm Höhe und 10 mm Durchmesser gegossen. Die Masse mussten gegenüber den ADA-Massen reduziert werden, da die max. ausgeübte Kraft (bedingt durch das Prüfgerät) auf 500 kp limitiert war. Nach 30 min wurden die Proben der Form entnommen und auf Kunststoffrosten bei 100% rel. Luftfeuchtigkeit weitere 30 min stehen gelassen. Die Messung erfolgte 1 h nach Mischbeginn. Die Parallelität der Stirnflächen wurde durch beidseitiges Auflegen von Acrylglasplatten auf die Gussform erzielt.

- Apparatur:

Die Messungen wurden mit einem Dehnungsprüfgerät der Fa. Instron Ltd (High Wycombe/GB) mit elektronischer Lastmessung und gekoppeltem Schreiber durchgeführt. Pro Gipssorte und Anmischart wurden 9 bis 10 Messungen gemacht. Der Probekörper wurde ins Zentrum zweier gelenkig mit der Zugapparatur verbundenen Metallplatten gestellt. Um bei nicht absolut parallelen Stirnflächen oder paralleler Stellung der Metallplatten einen möglichst gleichmässigen Druck auf die Gipszylinder entstehen zu lassen, wurde zwischen Gips und oberer Metallplatte ein Hartmetallkegelstumpf gestellt (Masse: grosser ϕ 16 mm, kleiner ϕ 3 mm, Höhe 13 mm). Der Vorschub betrug 5 mm/min, was etwa einem Lastanstieg von 50 kp/sec entsprach.

- Resultate

Messungen, die 15% vom Mittelwert aller Proben abwichen, wurden bei der definitiven Berechnung des Mittelwertes nicht berücksichtigt. Aus technischen Gründen musste beim 5% und 10% Trimmerwasser z. T. mehr Flüssigkeit beigegeben werden um pro Mischung wenigstens 5 Gussformen blasenfrei füllen zu können.

Tab. 2:	Druckfestigkeit in kp/cm^2					
	hand	masch	vac	5%	10%	(5% Rap- Trimmerwasser)
DIA	256	273	251	278	236	281
FUJ	504	524	545	475	456	524
SUP	447	542	483	482	463	
TRU	451	505	512	488	468	484
VEL	457	498	500	513	481	525
DUR		624				
FER	505	556	548	520	485	525
RAP	519	575	554	514	474	535
SYN	535	538	522	498	483	521
TEW	520	532	515	547	471	581

Von Tabelle 1 abweichende Mischverhältnisse:

(zusätzliche Menge in ml pro 100 g Pulver, bezogen auf die Versuche mit aqua dest.)

DIA: 5% + 2 ml, 10% + 3 ml

Restliche Gipse (ausser TRU): 5% + 1 ml, 10% + 2 ml

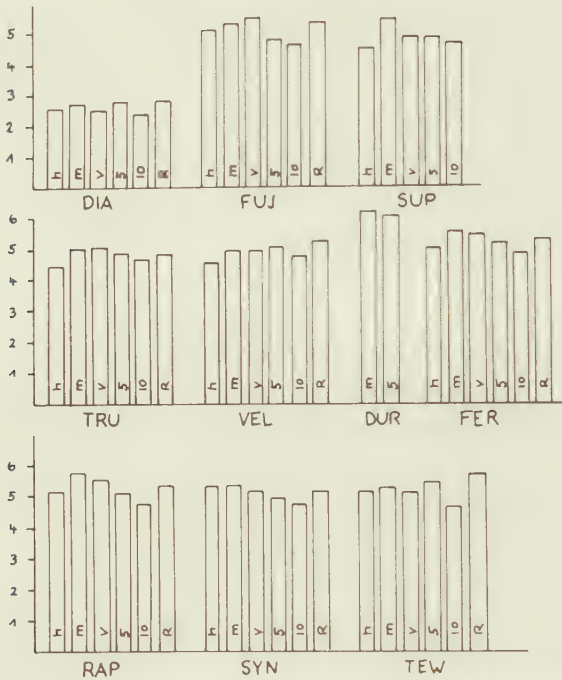


Abb. 1: Druckfestigkeit in kp/cm^2

h = hand, m = maschinell, v = vacuum

5 = 5%, 10 = 10% DIA-Trimmer, R = 5% RAP-Trimmer

- Diskussion

Maschinelles Mischen bringt in der Regel die besten Werte, ob mit oder ohne Vakuum spielt kaum eine Rolle. Es kam bei den Vorversuchen vor, dass Proben von einem Gips, bei gleicher Mischart und identischer Behandlung, Mittelwerte aufwiesen, die bis 20 kp/cm^2 differierten. Um ei-

nen Anhaltspunkt für die Wirkung der erhöhten Wassermenge, ohne den Einfluss der Dihydratpartikel, zu erhalten, wurden noch zusätzlich Twestone und Synthostone mit 25 ml aqua dest. und 15 sec. Mischen geprüft:

SYN: 442
TEW: 471 kp/cm^2

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Trimmerwasser die Druckfestigkeit kaum beeinflusst. Selbst die Werte mit 10% Trimmerwasser sanken, berücksichtigt man die Wirkung der erhöhten Wassermenge, nicht wesentlich. Die Differenzen zwischen den einzelnen Proben einer Serie waren meist grösser als diejenigen zwischen den verschiedenen Anmischarten.

Inhomogenitäten, wie sie z.B. durch Pulverrückstände (Drehachse des mechanischen Rührgerätes) oder durch das an der Oberfläche des Gipsbreies angesammelte Wasser entstehen können, haben einen grösseren Einfluss auf die Druckfestigkeit.

Interessant ist, dass das 5% Rapidur-Trimmerwasser die Werte, verglichen mit 5% Diamant-Trimmerwasser, grösstenteils verbesserte. Die synthetischen Gipse übertrafen, mit Ausnahme von Fuji Rock, die hier ausgewählten konventionellen Gipse.

4.3.2. Biegefestigkeit

- Prüfkörperherstellung

Pro Mischung wurden in einer Gussform 5 Gipsprismen mit einer Querschnittsfläche von 1 x 1 cm und einer Länge von ca. 7 cm hergestellt.

Pro Gipssorte und Anmischart wurden 10 solche Prismen geprüft. Die Gussform bestand aus 6, im Abstand von 1 cm lose an einem Verbindungsstab montierten 1 cm hohen Acrylglasstäben. Diese wurden mit dem Gipsbrei in den Zwischenräumen kurz zwischen 2 Glasplatten, die die vertikale Dimension der Gipsprismen begrenzten, in den gewünschten gegenseitigen Abstand von 1 cm gedrückt. Nach 30 min wurden die Gussformen entfernt und die Prismen bei 100% rel. Luftfeuchtigkeit auf ei-

nem Kunststoffrost weitere 30 min gelagert. Ausgemessen wurden sie nach dem Versuch an der Bruchstelle. (DIN misst nach 24 h an 160 x 40 x 40 mm grossen Prismen).

- Apparatur (Abb. 2)

Im Abstand von 5 cm montierte Metallzylinder von 3 mm Durchmesser dienten als Auflager für die Gipsprismen. Diese wurden in der Mitte mit einem parallel zu den Auflagern montierten Metallzylinder (ebenfalls 3 mm Durchmesser), der an einem vertikal geführten, beweglichen Stift fixiert war, belastet. Der Vorschub betrug 5 mm/min, die Zugkraft wurde mittels eingebautem Schreiber direkt aufgezeichnet. Als Zugapparat diente dasselbe Instron-Gerät wie bei den Druckfestigkeitsversuchen.



Abb. 2: Gerät zur Bestimmung der Biegefestigkeit

- Auswertung

Die Resultate wurden auf ein Normprisma von 10 x 10 mm Querschnittsfläche umgerechnet (beim Giessen entstanden Abweichungen bis 0,3 mm) und arithmetisch gemittelt.

Die Berechnung der Biegespannung r erfolgte nach der Formel:

$$r = \frac{p \cdot x \cdot L}{2b \cdot h^2}$$

wobei h: Höhe der Probe
b: Breite der Probe
L: Stützweite in cm
p: Belastung in kp

- Resultate (Abb. 3)

Tab. 3:	Biegefestigkeit in kp/cm ²				
	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw
DIA	102 ± 12	108 ± 11	104 ± 7	101 ± 8	103 ± 9
FUJ	138 ± 13	135 ± 8	138 ± 3	130 ± 7	126 ± 9
SUP			142 ± 14		
TRU	124 ± 10	131 ± 10	126 ± 11	118 ± 10	117 ± 8
VEL	137 ± 8	133 ± 8	136 ± 8	139 ± 7	129 ± 9
DUR		144 ± 8			
FER	132 ± 8	127 ± 10	129 ± 7	129 ± 12	124 ± 11
RAP	140 ± 17	141 ± 13	150 ± 15	131 ± 7	128 ± 4
SYN	130 ± 10	126 ± 8	134 ± 11	131 ± 8	129 ± 9
TEW	127 ± 6	132 ± 10	130 ± 10	123 ± 10	123 ± 10

- Diskussion

Die Unterschiede zwischen den Anmischarten sind hier noch geringer als bei den Druckversuchen, ebenso zwischen Diamant und den übrigen Gipsen (vgl. dazu Earnshaw (7)). Bei den 10% Tw-Proben spielt wieder die Flüssigkeitsmenge eine Rolle, die verschlechterten Werte sind trotzdem unbedeutend. Tru Stone, mit konstanter Flüssigkeitsmenge bei allen Anmischarten, sinkt beim Trimmerwasser-Wert um etwa 10% ab, verglichen mit dem besten (maschinellen) Wert.

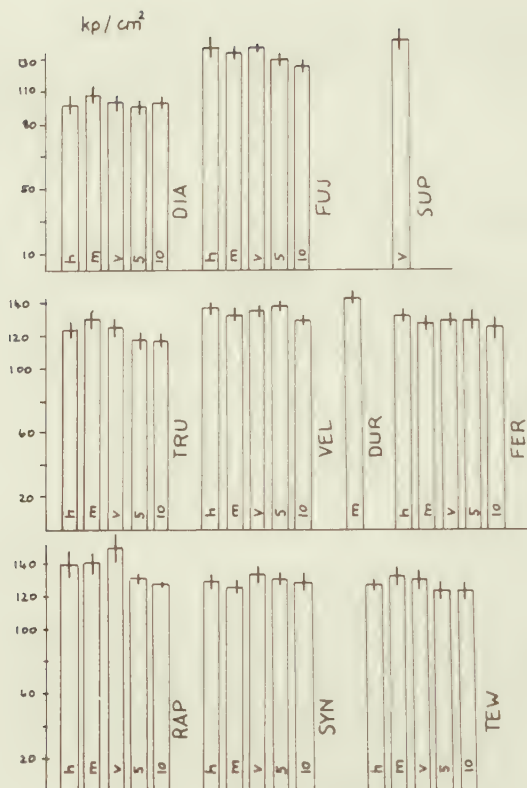


Abb. 3: Biegefestigkeit in kp/cm^2

4.3.3. Kugeldruckhärte

- Spezifikation

Nach DIN wird die Oberflächenhärte mit einem Kugeldruck Härteprüfgerät, einer Kugel mit dem Durchmesser von 10 mm, einer Vorlast von 1 kp und einer Prüfkraft von 50 kp gemessen. Nach der Vorlast, zur 0-Punkt Bestimmung, soll innerhalb von 2 sec mit der Prüfkraft belastet und nach 15 sec die Eindringtiefe abgelesen werden. Gemessen wird nach 24 h.

- Prüfkörperherstellung

In einer Kunststoffform wurden Kegelstümpfe von ca. 2 cm Höhe, kleinerem Durchmesser von 5 cm und grösserem von 5,5 cm gegossen und 10 sec lang vibriert. Die Form wurde mit einer Glasplatte abgedeckt um eine plane Standfläche des Probekörpers zu erhalten. Nach 30 min wurde der Gips aus der Form genommen und weitere 30 min bei 100% rel. Luftfeuchtigkeit und Normaltemperatur stehen gelassen. Gemessen wurde auf der in der Gussform unten gelegenen Fläche. Es wurden pro Probekörper 5 Messungen in einer zentralen Kreisfläche von maximal 2,5 cm Durchmesser vorgenommen, wobei die Eindruckstelle vorgängig von Auge auf Unregelmässigkeiten wie Schlierenbildung oder Luftblasen untersucht wurde. Das Ablesen erfolgte gemäss den Forderungen der DIN-Spezifikation. Pro Gipssorte und Anmischart wurde 1 Probekörper gegossen.

- Messapparatur

Bedingt durch die Messapparatur wurde hier eine Kugel mit 5 mm Durchmesser und eine Prüfkraft von 30 kp gewählt. Die Vorlast betrug 1 kp, die Aufbiegung der Apparatur max. 0,025 mm.

- Resultate (Abb. 4)

Die mittlere Abweichung war bei Diamant: 0,08 bis 0,1 kp/mm^2 , bei den restlichen Gipsen: 0,2 bis 0,3 kp/mm^2 . Die 5 Messungen pro Probekörper wurden arithmetisch gemittelt. Berechnet wurde nach der Formel:

$$H = \frac{F}{h \cdot D \cdot \pi}$$

Wobei D: Durchmesser der Kugel
h: Eindringtiefe der Kugel
F: Prüfkraft (30 kp)
H: Härte in kp/mm^2

- Diskussion

Das Trimmerwasser reduzierte die Oberflächenhärte schon bei der 5% Konzentration, wo das Wasser-Pulververhältnis noch unverändert war. Nur bei Diamant blieben die Werte einigermaßen konstant. Bei der 10% Konzentration spielt eventuell wieder die veränderte Flüssigkeits-

Tab. 4:

Kugeldruckhärte in kp/mm^2

	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw
DIA	5,67	5,63	5,91	5,84	5,44
FUJ	18,19	18,36	18,19	15,78	15,40
SUP			18,19		
TRU	13,17	13,74	14,58	12,40	12,56
VEL	13,35	13,12	14,04	12,01	12,24
DUR		16,90			
FER	15,04	17,20	17,05	14,47	13,08
RAP	13,54	14,04	14,58	12,90	12,90
SYN	15,78	15,15	17,05	15,40	14,25
TEW	14,15	15,28	15,50	14,69	12,65

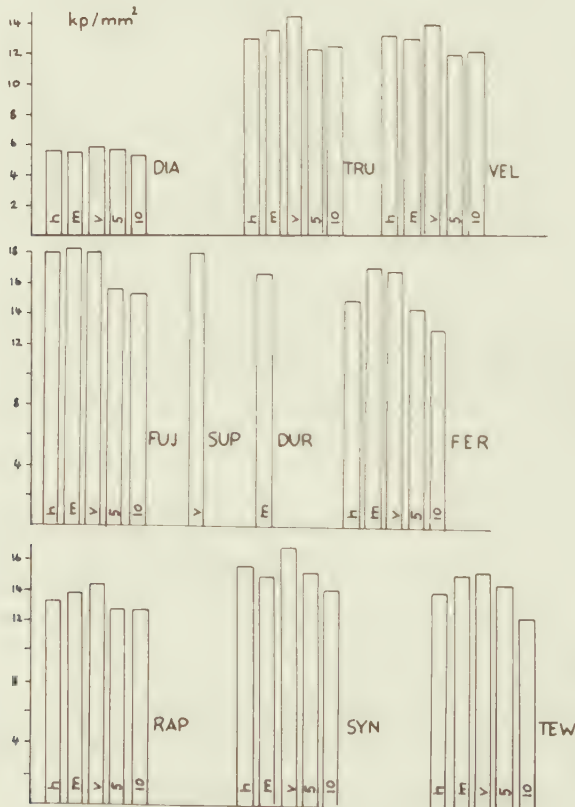


Abb. 4: Kugeldruckhärte in kp/mm^2

menge eine Rolle, weil diese Konzentration aus anderen Gründen kaum je benützt werden dürfte, ist die genaue Ursache der schlechteren Werte unwesentlich. Einzelne Gipse zeigen keinen Unterschied bei Verwendung von 5% resp. 10% Trimmerwasser.

Der Vergleich der Oberflächenhärte von randnahen zu zentralen Partien gibt z. T. grössere Unterschiede als sie im Vergleich zwischen den verschiedenen Anmischarten zu finden sind (die 10% Tw-Versuche nicht berücksichtigt).

Die Kristallisation wurde beim Uebergang Wand zu Boden der Gussform eventuell durch die dort veränderten Kohäsions-Adhäsionsverhältnisse, zumindest oberflächlich, gestört. Die Randpartien wurden deshalb bei den Messungen nicht berücksichtigt.

Mischen unter Vakuum kann die Oberflächenhärte verbessern, indem es die kleinen, von Auge nicht sichtbaren Luftblasen dicht unter der Oberfläche eliminiert.

Wie bei den Druckfestigkeitsversuchen, sind die synthetischen den hier benützten konventionellen Gipsen (ausser Fuji Rock) überlegen.

4.3.4. Abbindezeit

- Spezifikationen

Sowohl die DIN als auch die ADA fordern Messungen nach der Penetrationmethode (Vicat).

Um bessere Informationen über das Verhalten während des Abbindevorganges zu erhalten, wurde hier die bei Wirz et al. (21) beschriebene Methode gewählt.

- Messgerät (Abb. 5)

(entwickelt von der Fa. Ivoclar, Schaan, FL)

Ein vertikal bewegliches Messerchen wird mit konstanter Geschwindigkeit (hier 2,4 cm/min) durch den in einer Kunststoffwanne liegenden Gips gezogen.

Masse der Wanne: 30 cm Länge, 1,5 cm Breite und Höhe 1 cm.

Bei 100 g Gipspulver war die Füllhöhe ca. 6 mm.

Messer: Gewicht 19 p, Klingenstärke ca. 0,4 mm, aufliegende Kante (a) 4 mm lang.

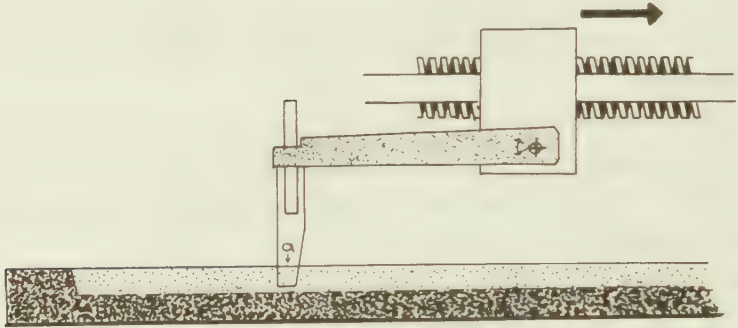


Abb. 5: Teilansicht des Messgerätes zur Bestimmung der Abbindezeit

- Messungen

Bei Mischbeginn wird das Messer in Bewegung gesetzt und, nachdem der Gipsbrei in die Wanne gegeben wurde, eingetaucht. Solange der Gips fließfähig ist, schliesst sich der Schnitt hinter dem Messer, wird er modellierbar, klafft der Schnitt. Beim Aushärten steigt das Messer an die Oberfläche. Es wurden folgende Stellen ausgemessen:

T1: Beginn des klaffenden Schnittes (entspricht etwa dem Ende der Verarbeitungszeit)

T2: Anstieg des Messers auf die Hälfte der Gipshöhe (mehr oder weniger das Ende der Modellierzeit)

T3: Rillentiefe auf dem festen Gips beträgt noch ca. 0,5 mm (hier als Abbindezeit bezeichnet)

T2 wurde gewählt, weil es sich etwas präziser messen lässt als T3, wo sich die Rillentiefe nur noch langsam verkleinert. Die Differenz T3-T2 gibt zudem grob ein Mass für die Geschwindigkeit des Aushärtens.

Pro Gipssorte und Anmischart wurden 2 Messungen durchgeführt und arithmetisch gemittelt.

- Resultate (Abb. 6)

Tab. 5: Abbindezeiten in Minuten

	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw	
DIA	2,7	4,4	5,0	1,1	0,9	T1
	6,7	8,3	9,2	2,4	1,8	T2
	11,9	15,8	18,2	5,0	3,0	T3
FUJ	4,4	4,5	3,8	3,6	2,4	T1
	7,7	8,8	8,4	6,7	4,2	T2
	12,2	14,0	14,1	10,4	6,7	T3
SUP	2,4	1,7				T1
	3,7	3,4				T2
	5,3	4,8				T3
TRU	4,8	5,2	5,3	1,5	0,9	T1
	7,1	7,7	8,2	2,4	1,8	T2
	8,8	9,2	10,0	3,0	2,3	T3
VEL	5,0	6,8	7,4	1,5	1,25	T1
	8,5	10,7	11,8	3,0	2,6	T2
	10,6	13,2	14,2	3,8	3,4	T3
DUR		4,0				T1
		4,9				T2
		5,0				T3
FER	4,3	4,5	5,0	1,25	0,8	T1
	7,8	9,0	8,7	2,3	1,35	T2
	8,7	10,3	9,9	2,6	1,4	T3
RAP	3,6	4,5	3,1	2,8	1,7	T1
	6,0	6,3	6,5	5,0	4,0	T2
	7,4	7,6	8,1	6,0	4,7	T3
SYN	5,6	6,0	5,8	1,3	0,8	T1
	8,4	9,0	9,2	2,0	1,3	T2
	8,7	9,6	9,8	2,4	1,4	T3
TEW	4,9	4,7	5,4	2,6	2,0	T1
	7,3	7,0	7,35	4,8	3,7	T2
	8,6	8,45	8,7	5,7	4,0	T3

- Diskussion

Das doppelt so lange Mischen von Hand verkürzte die Abbindezeit, verglichen mit dem maschinellen Anrühren (ausser bei Tewestone). Vakuum verlängerte sie, verglichen mit letzterem, nochmals geringfügig. Keine Veränderung der Abbindecharakteristik scheint sich durch die Benützung von Trimmerwasser zu ergeben, die Zeiten T₁, T₂ und T₃ werden einigermassen proportional verkürzt. Die Abbindezeit selbst wird jedoch stark verringert.

Frühere Untersuchungen von Kobes und Narita (18), wo Alabastergips für die Herstellung des Trimmerwassers benützt worden war, brachten bei Vel Mix Stone eine Reduktion der Abbindezeit (nach Vicat gemessen) von 10 min auf ca. 6,8 min bei Verwendung von 10% Trimmerwasser. Hier wurde mit derselben Konzentration eine Reduktion auf 3,8 min erzielt.

Ursache könnten die Stellmittel sein, die dem Gips zur Beeinflussung der Abbindegeschwindigkeit beigegeben werden. Diese gehen bei der Herstellung des Trimmerwassers in Lösung und könnten eventuell die im Hemihydratpulver beigemengten Stellmittel in ihrer Wirkung verstärken.

Andererseits gibt die Angabe der Konzentration in Gewichtsprozenten keine Information über die Anzahl der Dihydratteilchen. Bei gleichem Druck gegen die Diamantscheibe eines Modelltrimmers wird Alabastergips schneller abgeschliffen als Hartgips; es ist anzunehmen, dass bei letzterem die Teilchenzahl bei gleichen Gewichtsprozenten höher und die Grösse der Partikel vermindert ist.

Zudem spielt sicher auch die Körnung der Diamantscheibe eine Rolle.

Dass die Teilchenzahl für die Reduktion der Abbindezeit massgebend ist, zeigte sich bei den oben erwähnten früheren Versuchen, wo die Korrelation von Abbindezeit und Konzentration des Trimmerwassers untersucht worden waren.

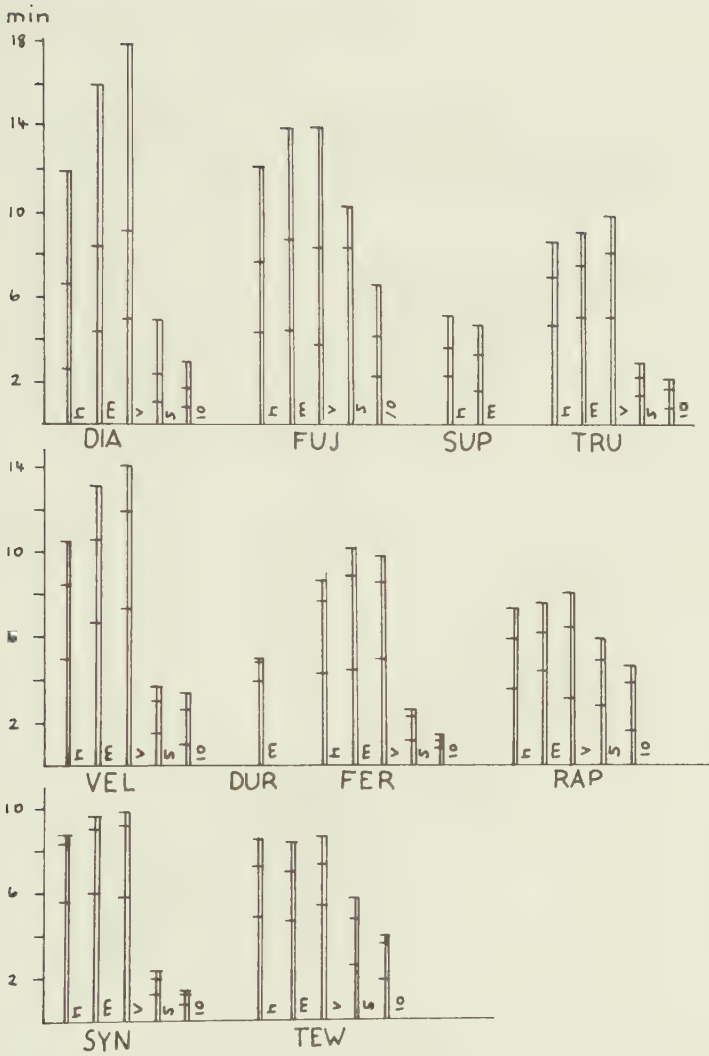


Abb. 6: Abbindezeiten in Minuten

Unterer Strich: T1

Mittlerer Strich: T2

Oberer Strich: T3

4.3.5. Expansion

- Spezifikationen

Gemäss ADA werden, anhand von Markierungen, die Bewegungen des Gipses im Messmikroskop gemessen. Der Abstand der Markierungen beträgt 30 cm, der Gips liegt in einer mit Kofferdam ausgelegten Rinne.

Nach DIN wird mit einer Messuhr gemessen, ist die Rinne mit Polyetrafluoräthylen-Folie ausgelegt und aus Aluminium oder rostfreiem Stahl und hat einen V-förmigen Querschnitt. Der Gips schiebt bei der Expansion einen 200 g schweren Metallwürfel vor sich her. Die Länge des Probekörpers beträgt vor der Längenänderung $100 \pm 0,1$ mm.

- Messgerät (Abb. 7)

Im Gegensatz zur DIN besteht die Rinne aus Delrin, ansonsten sind keine Abweichungen vorhanden.

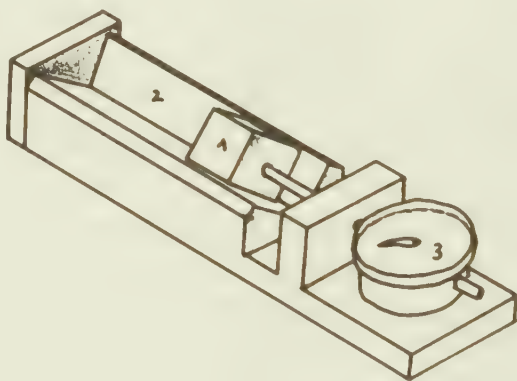


Abb. 7: Messgerät zur Bestimmung der linearen Abbindeexpansion
1 = Metallwürfel, 2 = Wanne aus Delrin, 3 = Messuhr

- Messungen

Die Rinne wurde mit einer doppelten Lage Poliäthylenfolie ausgelegt, der Metallwürfel so plaziert, dass der vordere Rand 100 mm vom Rinnenabschluss entfernt war. Nach dem Einbringen des Gipses (100 g Pulver +

Flüssigkeit) wurde kurz vibriert und der Stift der Messuhr im Kontakt mit dem Metallwürfel auf Null gestellt. Bis zur max. Kontraktion blieb der Stift dort, nachher wurde er zurückgezogen und nur noch für die Messungen in Kontakt mit dem Würfel gebracht.

Pro Gipsorte und Anmischart wurden 2 Messungen durchgeführt und die Werte arithmetisch gemittelt.

Der nach 2 h abgelesene Wert wurde zusammen mit der addierten Kontraktion in % der ursprünglichen Länge umgerechnet.

- Ergebnisse (Abb. 8)

Tab. 6:		Lineare Abbindeexpansion in %			
	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw
DIA	0,204	0,219	0,211	0,209	0,212
FUJ	0,137	0,119	0,116	0,103	0,128
SUP			0,141 (22 ml H ₂ O) 0,143 (24 ml H ₂ O)		
TRU	0,123	0,140	0,126	0,121	0,119
VEL	0,163	0,160	0,154	0,151	0,149
DUR		0,218			
FER	0,201	0,205	0,178	0,187	0,200
RAP	0,203	0,205	0,201	0,223	0,247
SYN	0,193	0,182	0,173	0,183	0,203
TEW	0,209	0,203	0,199	0,214	0,234

Auf Grund der Differenz zu anderen Untersuchungen, wo Vel Mix Stone jeweils mit Expansionswerten von ca. 0,11% angeführt wurde, wurden hier noch zusätzliche Messungen mit einer anderen Packung durchgeführt. Alle anderen Daten stammen von der ersten Packung, wenn Nichts speziell vermerkt ist.

VEL (aus der 2. Packung): mit 21 ml H_2O , masch. 30 sec : 0,120%
 mit 22 ml " , " " : 0,112%
 mit 23 ml " , " " : 0,130%
 mit 23 ml 5% Tw, masch. 15 sec : 0,112%
 mit 23 ml 5% ATw, " " : 0,120%

(ATw = Alabastertrimmerwasser)

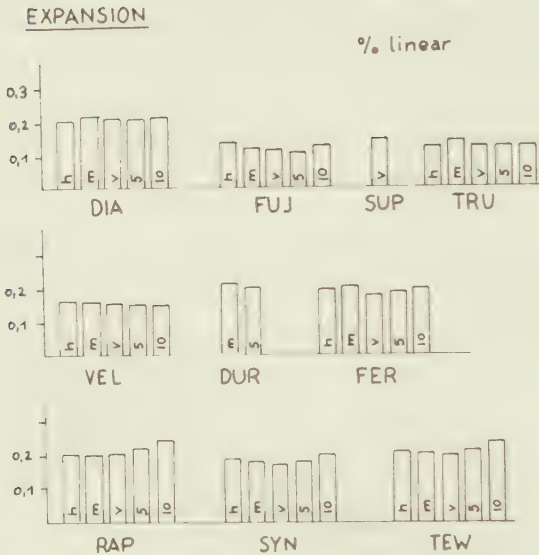


Abb. 8: Abbindeexpansion in % linear

Nichts Neues brachte folgende Versuchsanordnung:

Die beiden Hälften einer Ringform aus Impregum (Espe) wurden innen mit Poliäthylenfolie ausgelegt, lose aneinandergestellt und mit Vel Mix Stone aus der 2. Packung ausgegossen. Aus den so entstandenen Gipszylinder wurde ein Deckglas gelegt, das wegen der Oberflächenspannung des Gipsbreis nicht einsank. Darauf wurde der Taster eines elektronischen Längenmessgerätes (Tesa SA, Renens / CH) plziert. Der Auflage-
 druck betrug 5 p. Die Längenänderung wurde direkt mit einem Schreiber aufgezeichnet. Die Masse des Gipszylinders betrug: Höhe 24 mm, Durchmesser 25 mm.

Die Expansion erreichte mit 23 ml H_2O : 0,133%, mit 23 ml 5% Trimmerwasser: 0,132% (Abb. 9).

Der Buckel im unteren Teil der ansteigenden Kurve stammt vermutlich von einer kurzen Behinderung der Expansion durch kleine, am Impregum anliegende Partien her.

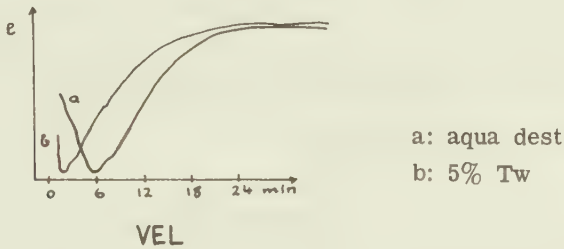


Abb. 9: Expansionsverlauf von Vel Mix Stone (2. Packung) in einem Ring aus Impregum

- Diskussion

Trimmerwasser führte bei den synthetischen Gipsen zu einem leichten Ansteigen der Expansion. Mischen unter Vakuum brachte meistens leicht bessere Werte als die restlichen Methoden.

Die synthetischen sind den hier verglichenen konventionellen Gipsen unterlegen.

Vel Mix Stone und Tru Stone zeigten leicht verminderte Expansion bei Verwendung von Trimmerwasser, Fuji Rock reagierte, nach einer Verminderung bei der 5% Konzentration, wieder mit einem Anstieg beim 10% Trimmerwasser.

Frühere Untersuchungen von Kobes und Narita (18) zeigten bei Verwendung von Alabastertrimmerwasser u.a. auch bei Vel Mix Stone einen wesentlichen Rückgang der Expansion. Jene Messungen wurden auf einem Quecksilberbad vorgenommen. Earnshaw (8) konnte zeigen, dass der einer Längenänderung entgegenwirkende Widerstand auf einem Quecksilberbad etwa in der gleichen Grössenordnung wie in einer mit Koffer-

dam ausgelegten Rinne ist. Freistehende Gipszylinder expandierten stärker und wurden z. T. erst durch Drucke bis $0,4 \text{ kp/cm}^2$ auf die Werte der beiden anderen Messmethoden reduziert. Beim Quecksilber wurden als Erklärungsmöglichkeit das Austrocknen des flach ausgebreiteten Gipsbreies oder die hohe Oberflächenspannung des Quecksilbers angeführt. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Messmethoden waren nicht für alle geprüften Gipse gleich. Eventuell ändert sich das Verhalten der mit Trimmerwasser angemischten Gipse so, dass diese Unterschiede zur Geltung kommen. Vielleicht ist auch die bei Kobes benützte, schnell rotierende Mischmaschine (1750 Upm) dafür verantwortlich.

Zu beachten ist ferner, dass die Expansionsrate bei Verwendung von Trimmerwasser nicht grösser wird als beim Mischen mit Wasser (siehe Abb. 9). Die Dihydratpartikel üben vermutlich keine Wirkung mehr aus auf die chemischen und physikalischen Vorgänge im Gips, wie dies schon Docking (6) anhand von Temperaturmessungen zeigte.

Wie im Kapitel Abbindezeit erwähnt, können auch die im Trimmerwasser enthaltenen Stellmittel nachteilig auf die Expansion einwirken.

4.3.6. Detailwiedergabe

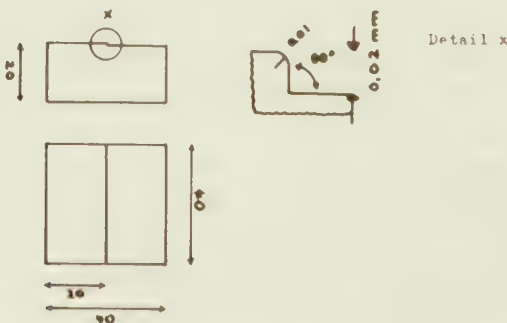


Abb. 10: Prüfblock für die Detailwiedergabe

- Spezifikation

Nach DIN muss der in einem Ring aus PVC (Höhe 25 mm, Durchmesser 25 mm) gegossene Gips eine 0,02 mm hohe Stufe über den gesamten Durchmesser abzubilden im Stande sein. Die Detailwiedergabe soll mit einer ca. 6 fachen Lupe bei Schräglicht beurteilt werden.

- Prüfkörper

Da die Stufe hier gefräst wurde, dürfte sie eher so aussehen:



Der Ring wurde aus Impregum (Espe) hergestellt. Nach ca. 15 sec Vibrieren wurde der Gips 30 min auf dem Prüfblock belassen.

- Auswertung

Die Beurteilung erfolgte mit einer Lupe (10x) bei schräg einfallendem Kunstlicht. Die bei der Herstellung des Prüfblockes benützte Fräse hinterliess auf den der Stufe benachbarten Flächen eine feine Rillenstruktur als zusätzliches Differenzierungsmerkmal.

Die Resultate wurden mit folgenden Zahlen klassifiziert:

- 1: Stufe im Gips noch als abgerundete Erhebung zu erkennen
- 2: Stufe eher "kantig" abgebildet
- 3: Zusätzlich zu 2 noch die feinen Rillen der Fräsung sichtbar

Tab. 7: Detailwiedergabe

	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw
DIA	1-2	1-2	2	1	1
FUJ	2-3	3	3	2	2
SUP		3	3		
TRU	2	2	2	1-2	1-2

Fortsetzung Tab. 7

	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw
VEL	3	3	3	3	3
DUR		3			
FER	2	2	2	1-2	1-2
RAP	2	2	2	2	1-2
SYN	2-3	2	3	1-2	1-2
TEW	3	2-3	3	1-2	1-2

- Diskussion

Alle Gipssorten vermochten die Stufe abzubilden. Die Detailwiedergabe hängt teils von der Fliessfähigkeit, teils von der Beschaffenheit und Anordnung der Gipskristalle an der Oberfläche ab. Wird eine präzise Abbildung dieser Stufe verlangt, soweit das mit einer Lupe beurteilbar ist, so konnten die mit Trimmerwasser angemischten Gipse nur z. T. befriedigen. Dabei könnte die Fliessfähigkeit eventuell durch eine frühzeitig einsetzende Kristallisation um die Dihydratpartikel oder deren zusätzlichen Reibungswiderstand vermindert worden sein. Andererseits zeigte sich z.B. bei Vel Mix Stone oder Super Die, deren Konsistenz nicht dünner war, dass die Stufe trotzdem sauber abgebildet werden kann.

Die Wiedergabe der feinen Rillen auf dem Prüfblock ist wahrscheinlich weniger durch erhöhte Fliessfähigkeit, als vielmehr durch die Kristallgrösse gegeben.

- Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Wie Abb. 11 zeigt, wurden die feinen Rillen auch bei Diamant (10% Tw) abgebildet, obwohl diese Probe bei der Betrachtung mit der Lupe nur mit 1 bewertet werden konnte. Auf der Oberfläche liegende, unregelmässig verteilte, grosse Kristalle oder Kristallaggregate reflektierten möglicherweise das schräg einfallende Licht so stark, dass die feineren Strukturen darunter nicht bemerkt wurden. Nicht auszuschliessen ist aber auch, dass diese Ablagerungen erst bei der Vorbereitung für die

Rasterelektronenmikroskopaufnahmen auf die Oberfläche gerieten. Möglicherweise handelt es sich dabei jedoch um sedimentierte Dihydratteilchen aus dem Trimmerwasser.

Eine Ansammlung dieser Teilchen im Bereich der Stufe ist eventuell auch die Erklärung für die Beurteilung "rund" anstelle "kantig" bei deren Wiedergabe (Abb. 12 – wo die groben Rillen enden). Die Stufe ist in den Abbildungen 11 und 12 bei diesem Sichtwinkel nicht als solche erkennbar. Abbildung 13 und 14 zeigen die Stufe in Schrägansicht bei einer Probe, die mit der Zahl 3 bewertet wurde. Die Oberfläche wirkt homogener. Die Unterschiede bewegen sich aber in Dimensionen, die kaum von praktischem Wert sind. Der Abstand der groben Rillen (Mitte zu Mitte) beträgt ca. 0,08 mm, die Höhe dürfte ca. 0,01 mm sein.

Beim Betrachten der Bilder mag angezweifelt werden, ob die Fließfähigkeit bei dieser Versuchsanordnung überhaupt beurteilt werden kann, oder ob diese feine Stufe nicht einfach mit dem im Gipsbrei noch freien Wasser gefüllt wird und die Gipskristalle hineinwachsen. Die von Auge gefundenen Differenzen wären demnach u.a. eine Folge der unterschiedlichen Kristallform und -anordnung. Sicherlich spielt auch die Farbe des Gipses dabei eine Rolle.

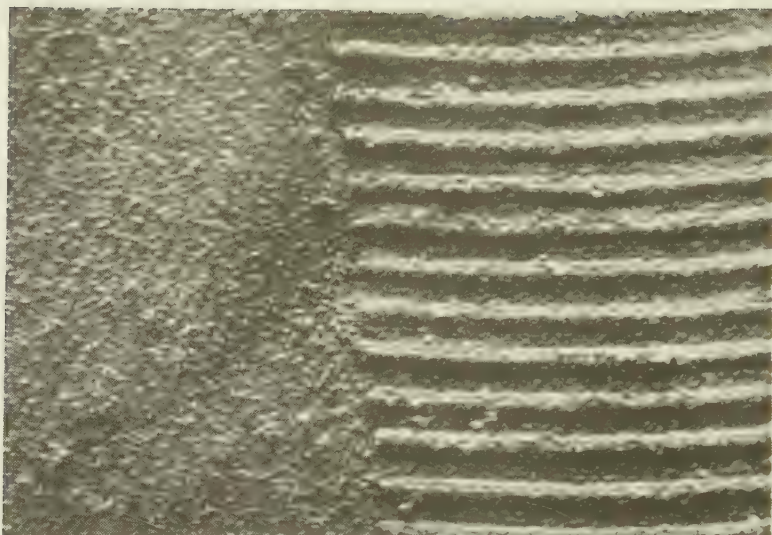


Abb. 11: Diamant Hartgips 10% Trimmerwasser, REM 70 x

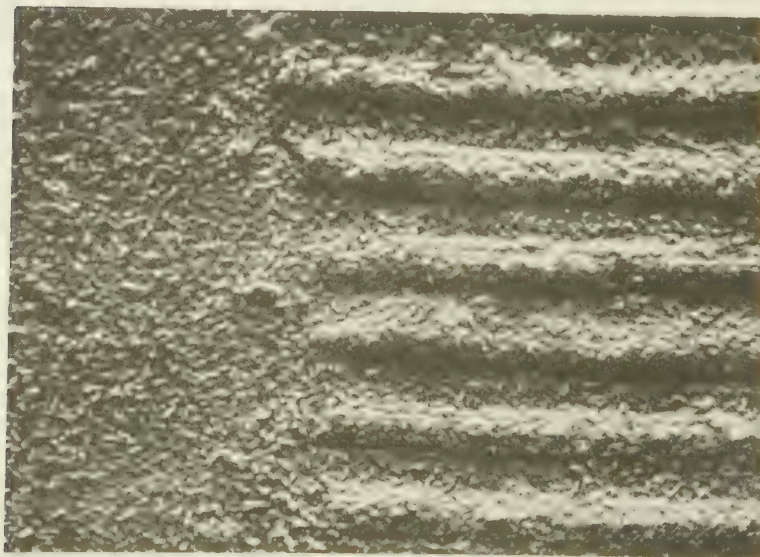


Abb. 12: Diamant Hartgips 10% Trimmerwasser, REM 140 x

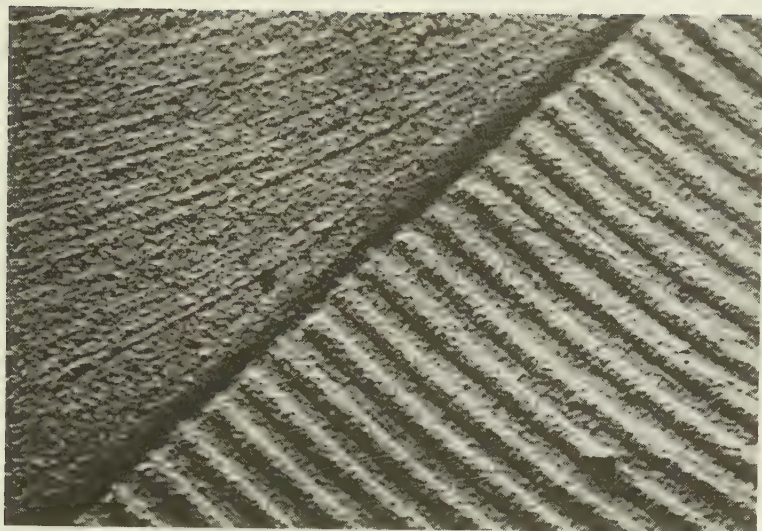


Abb. 13: Vel Mix Stone, Vakuum, Schrägansicht der Stufe, REM 70 x

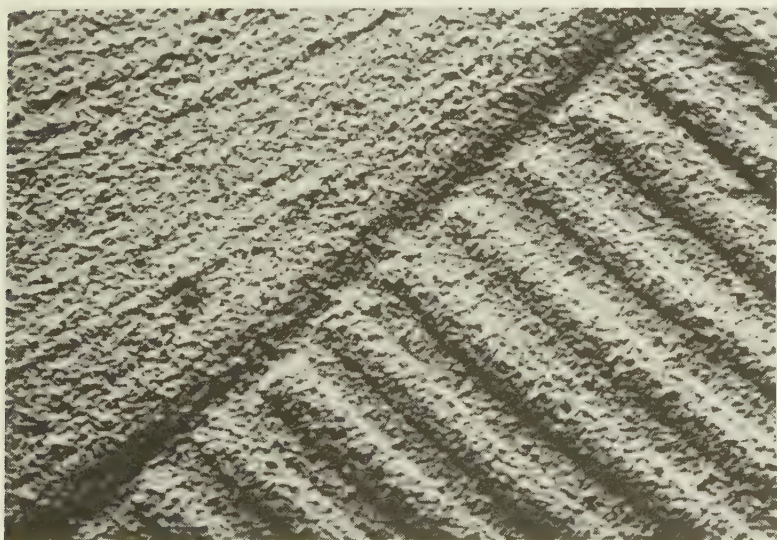


Abb. 14: Vel Mix Stone, Vakuum, Schrägansicht der Stufe, REM 140 x

4.3.7. Abrasionsversuche

Um die Widerstandsfähigkeit einer Gipsoberfläche gegen harte, schabende Instrumente zu prüfen, wurde folgende Versuchsanordnung benützt:

- Probekörper

Zwischen zwei Acrylglasplatten und einem den Umfang begrenzenden Ring aus Impregum (Espe) wurden Gipsscheiben von 5 mm Dicke und ca. 8 cm Durchmesser gegossen und kurz vibriert. Nach 30 min wurden sie aus der Form genommen und bei Normalklima (s. 4.2.1.) 24 h lang gelagert. Pro Gipssorte und Mischart wurden 2 Scheiben hergestellt.

- Prüfapparatur (Abb. 15)

Als Drehscheibe für die Gipsproben diente ein Grammophonplattenteller mit 16 Upm. An einem 9,5 cm langen Arm, der gelenkig mit der, die Drehscheibe tragenden, Bodenplatte verbunden war, wurden die Schaber angeschraubt. Es handelte sich dabei um Hartmetallplättchen, wie sie bei der spanabhebenden Metallbearbeitung verwendet werden. Hier wurden die abgerundeten Ecken dazu benützt, eine Rille in den Gips zu kratzen.

Der Schneidekantenwinkel betrug ca. 8° , der Radius der Rundung war 0,7 mm, der Auflagedruck 35 p. Der Schaber liess sich, bedingt durch das Spiel im Gelenk des Tragarmes, 0,02 mm horizontal und senkrecht zur Zugrichtung bewegen.

- Versuche

Die Gipsscheiben wurden in folgender Reihenfolge bearbeitet, jeweils von einer Gipssorte:

hand-masch-vac-5%-10% - 10%-5%-vac-masch-hand

Dies, um eine eventuell stumpf werdende Kante des Schabers zu kompensieren. Es wurden keine Veränderungen, ausser dem Austauschen der Gipsscheiben, während dieser 10 Messungen vorgenommen.

Erst für die nächste Serie wurde das Metallplättchen ausgewechselt.

Die Proben wurden auf dem Drehteller fixiert, so dass die, in der Gussform unten gewesene, Fläche bearbeitet wurde. Nach 5 Umdrehungen mit aufliegendem Schaber, wurde die kreisförmige Rille in 6 gleichlange Teilstücke unterteilt und vermessen. Innerhalb eines solchen Teilstücks wurde bei künstlichem Schräglicht unter dem Messmikroskop die mittlere Breite der Rille gemessen. Dieser Mittelwert konnte noch von Auge abgeschätzt werden. Die so erhaltenen 12 Daten (von 2 Scheiben) wurden dann weiter arithmetisch gemittelt. Strecken, wo der Schaber vertikal zu schwingen begann, was sich in perlschnurartig aneinander gereihten Vertiefungen zeigte, wurden nicht berücksichtigt.

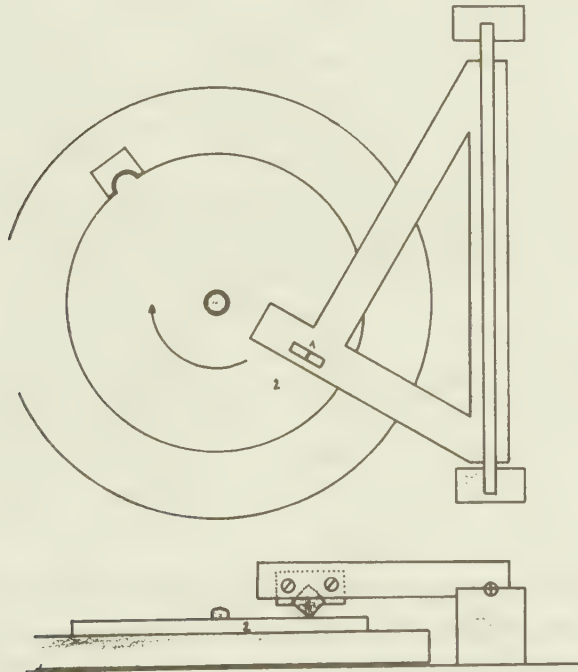


Abb. 15: Apparatur zur Prüfung der Schabfestigkeit

1: Metallschaber

2: Gipsscheibe auf Drehteller

- Resultate

Tab. 8: Rillenbreite in 0,01 mm
Vergleich der Mischarten (Abb. 16)

	hand	masch	vac	5% Tw	10% Tw
DIA	32,7	40,0	33,2	35,6	33,2
FUJ	28,0	29,5	29,1	26,9	28,0
TRU	35,1*	29,2	30,4	27,9	26,0
VEL	27,5	30,0	26,5	30,1	31,1
FER	30,0	32,6	33,4	31,0	28,5
RAP	31,6	30,6	29,2	31,2	32,6
SYN	26,7	26,3	27,5	28,2	28,2
TEW	26,5	27,4	25,2	29,0	28,7

* (Eine Scheibe mit ca. 30, eine mit ca. 40)

Tab. 9: Rillenbreite in 0,01 mm
Vergleich der verschiedenen Gipsmarken, alle maschinell
mit Vakuum angemischt (ausser Duricap).
Wie vorher, wurde die Reihenfolge nach dem ersten Durch-
gang umgekehrt (Abb. 16)

DIA	30,0	DUR	27,5
FUJ	31,5	FER	28,7
SUP	25,7	RAP	27,7
TRU	29,9	SYN	23,3
VEL	36	TEW	24,3

Auffallend ist der ungünstige Wert von Vel Mix Stone. Beide Gipsscheiben kamen auf ähnliche Werte und hatten eine matte Oberfläche. Der Grund dafür ist nicht bekannt, zumal dies in jenen Versuchen, wo die verschiedenen Mischmethoden geprüft wurden, bei diesem Gips nicht auftrat.

Abrasion

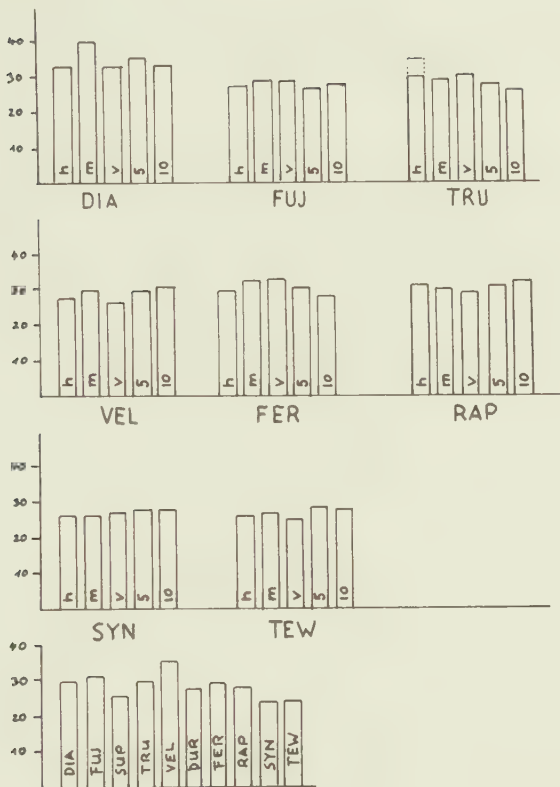


Abb. 16: Rillenbreite in 0,01 mm
Vergleich der Schabfestigkeit der verschiedenen Mischarten und Gipsmarken

- Diskussion

Apparatur

Unter dem Mikroskop war eine minimale Rillenbreite von 0,2 mm noch messbar, darunter wurden die Rillenränder zu flach und der Uebergang zur unberührten Gipsoberfläche verwischt. 0,2 mm Breite entspricht einer Rillentiefe von 0,007 mm, 0,3 mm einer solchen von 0,016 mm und 0,5 mm einer solchen von 0,046 mm.

Eine Erhöhung des Auflagedruckes würde, abgesehen davon, dass der Gips abzusplittern begann, weniger die Oberfläche als vielmehr tiefere

Schichten in die Messung einbeziehen. Wurde die Anzahl der Umdrehungen oder die Drehgeschwindigkeit erhöht, begannen sich die vertikalen Schwingungen des Schabers zu verstärken.

Resultate

Es dürfen nur die Messungen innerhalb einer Serie miteinander verglichen werden; d.h. bei Diamant Hartgips z.B. nur die verschiedenen Mischmethoden miteinander, nicht aber Diamant mit einem anderen Gips, ausser in jener Serie, wo die Gipsmarken unter gleichen Mischbedingungen miteinander verglichen werden.

Neben den unterschiedlichen Schabern spielte die Richtung des Lichtes sowie die Farbe des Gipses eine wesentliche Rolle bei den Messwerten und konnten nur in einer Serie konstant gehalten werden.

Berücksichtigt man die Ungenauigkeit der Apparatur, so kann kein wesentlicher Unterschied zwischen den Mischarten gefunden werden. Gelegentlich auftretende schlechte Probekörper (bei Diamant - maschinell, Tru Stone - hand) haben keine Bedeutung. Interessanter waren die Unterschiede auf den einzelnen Scheiben selbst. So konnten innerhalb eines Sektors Werte von 0,24 bis 0,40 mm auftreten. Messungen auf der in der Gussform oben gelegenen Fläche brachten Werte bis 0,50 mm! Grund dafür waren sowohl z.T. Inhomogenitäten im Gipsbrei als auch feinste Verunreinigungen der Glasoberfläche, obwohl diese jedesmal mit Wasser gewaschen und mit einem Tuch abgetrocknet wurde. So führten z.B. Fingerabdrücke zu einer Ansammlung von nadelförmigen Kristallen auf der Gipsoberfläche, die, da sie dem schabenden Metallplättchen weniger Widerstand entgegen brachten, die Rillen tiefer werden liessen.

Interessanter ist der Vergleich der Gipssorten untereinander. Diamant, das eine viel niedrigere Oberflächenhärte (Kugeldruck) hat als die restlichen Sorten, schneidet hier relativ gut ab. Das unerwartete Ergebnis bei Vel Mix Stone zeigt, dass die Widerstandsfähigkeit der obersten Schichten von diversen Faktoren abhängt, die sich in den vorhergehenden Versuchen nicht manifestierten. Die Kristallform und -anordnung

lassen sich leicht stören, woran nebst der chemischen Zusammensetzung und Topographie der Kontaktfläche auch Unregelmässigkeiten bei der Verarbeitung im Labor und bei der Herstellung des Gipses beteiligt sein können.

Anhand der REM-Aufnahmen lässt sich vermuten, dass der Winkel, in dem die Kristalle zur Oberfläche stehen, deren Querschnitt und deren Anzahl pro Flächeneinheit die Rillentiefe massgeblich beeinflussen können.

Der Techniker wird die Oberfläche der Gipse von Auge, mit dem Tastsinn oder eventuell mit einem Messerchen schabend ausreichend genau vergleichen können. Die so erhaltene subjektive Beurteilung deckte sich weitgehend mit den Resultaten der Versuche.

- REM-Aufnahmen

Die Abbildungen 17/18/19 zeigen glänzende, widerstandsfähige Gipsoberflächen (Rillenbreiten um 0,25 mm). Abbildung 20 zeigt eine "mehlige" Oberfläche (Rillenbreite um 0,45 mm) mit spitzen dünnen und locker angeordneten Kristallen. Die Abbildungen 21 und 22 zeigen die unbearbeitete Oberfläche von Synthostone im Bereich der vom Prüfblock nach Abb. 10 abgebildeten groben Fräsung. Die Abbildungen 23 und 24 zeigen den Grund der Rille bei Schabfestigkeitsversuchen mit abgebrochenen Kristallen. Es scheint, dass dabei in der Tiefe etwas grössere Kristalle als an der Oberfläche angetroffen wurden.



Abb. 17: Fuji Rock, Vakuum, "glasige Oberfläche", REM 1600 x



Abb. 18: Fuji Rock, Vakuum, "glasige Oberfläche", REM 3200 x



Abb. 19: Vel Mix Stone, Vakuum, "glasige Oberfläche", REM 1550 x



Abb. 20: Tru Stone, maschinell, "mehlige Oberfläche", REM 1400 x



Abb. 21: Synthostone, Vakuum, Fräsung auf Prüfblock, REM 1450 x

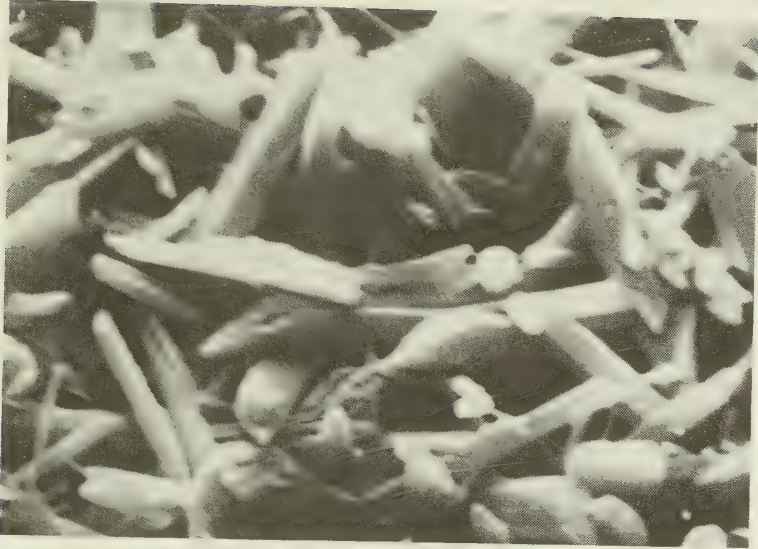


Abb. 22: Synthostone, Vakuum, Fräsung auf Prüfblock, REM 2900 x



Abb. 23: Synthostone, Vakuum, Rille eines Schabversuches, REM 1600 x



Abb. 24: Synthostone, Vakuum, Rille eines Schabversuches, REM 3200x

4.3.8. Dimensionsveränderungen während 2 Wochen

Die Absicht war, zu untersuchen, ob sich bei Lagerung die synthetischen von den konventionellen Gipsen in ihrem Dimensionsverhalten über längere Zeit unterscheiden.

- Probekörper

In Metallformen (2-teilig, verschraubt) wurden 13 mm hohe Gipszylinder mit dem Durchmesser 6 mm gegossen, nach 30 min entfernt und mit einem Deckglas auf der oberen Stirnfläche unter einen Taster gestellt. Es wurden pro Gips 3 Zylinder hergestellt und vermessen. Der Gips wurde von Hand gemischt.

- Apparatur

Es handelte sich um das schon bei den Expansionsversuchen benutzte elektronische Längenmessgerät der Fa. Tesa SA (Renens, CH) mit einem 5 g schweren Taststift. Daran angeschlossen war ein Schreiber, der jedoch nur die Werte eines Tasters aufzeichnen konnte, weshalb auch in regelmässigen Intervallen vom Anzeigegerät abgelesen wurde.

- Durchführung

Zuerst musste das Ende der Expansion abgewartet und der entsprechende Längenwert notiert werden. Dann wurde in 30 min, später stündlichen Abständen abgelesen (wenn der Schreiber nicht benützt wurde). Später, mit dem Abflachen der Kurve, wurden die Intervalle auf 1 bis 2 Tage ausgedehnt. Nach 14 Tagen Lagerung im Normalklima wurden die Messungen beendet.

- Resultate

Tab. 10: Kontraktion in % linear, resp. 0,001 mm

DIA	5,2 4,3 5,7	Ø 5,0	- 0,038%	(konstanter Wert nach ca. 5 Tagen)
FUJ	5,6 5,6 5,9	Ø 5,7	- 0,044%	(+ konstant nach 10 Tagen)
VEL	6,9 5,9 6,2	Ø 6,3	- 0,048%	(noch leichte Kontraktion nach 14 Tagen)
DUR	7,9 8,0 7,9	Ø 7,9	- 0,061%	(+ konstant nach 4 Tagen)
FER	6,2 6,0 5,6	Ø 5,9	- 0,046%	(+ konstant nach 4 Tagen)
RAP	4,5 4,2 4,7	Ø 4,4	- 0,034%	(+ konstant nach 7 Tagen)

Abb. 25 zeigt den Kurvenverlauf von 3 Proben Fuji Rock. In Klammern unten links steht der Wert nach 48 h.

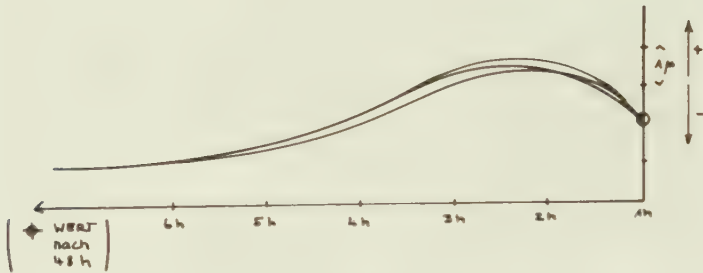


Abb. 25: Initiale Kontraktion von Fuji Rock

- Diskussion

Die Prüfkörper expandierten noch nach 1 bis 1½ h z. T. relativ stark; vermutlich, weil dies in der Metallform behindert und eine Spannung aufgetreten war. Die darauf folgende Kontraktion erreichte gewöhnlich schon nach 12 h einen Wert in der Nähe der für die entsprechende Luftfeuchtigkeit konstanten Dimension. Einzelne Gipse, so z.B. Fuji Rock und Vel Mix Stone, brauchten länger.

Es kann bei beiden Gipstypen mit einer Kontraktion von ca. 0,05% gerechnet werden, mehr lässt sich nicht aus dieser Versuchsanordnung lesen.

5. VERPACKUNG

Nach der DIN-Spezifikation sollte das Material Gips gegen Feuchtigkeit und Verunreinigung geschützt sein, sowie jeder Packung eine Gebrauchsanweisung mit Wasser-Gips-Verhältnis für Behandlung und Verwendung beigelegt sein.

Die Packung sollte mit folgenden Angaben gekennzeichnet sein:

- Name oder Zeichen des Herstellers
- Typ des Gipses
- Seriennummer oder Aehnliches, das sich auf Aufzeichnungen des Herstellers für die entsprechende Charge bezieht
- Mindestnettogewicht
- Lagerungsbedingungen mit Endverbrauchsdatum
- Gebrauchsanweisung

Vorschriftsmässig verpackt und beschriftet sind: Tewestone und Rapidur (versiegelter Kunststoffbehälter), bei Ferrodur fehlte nur das Endverbrauchsdatum.

Die Gipse aus Uebersee waren in Blechdosen geliefert worden, die keine Endverbrauchsdaten (Vel Mix Stone, Tru Stone, Fuji Rock) und z. T. auch keinen Behandlungshinweis (Tru Stone) enthalten. Nur bei Fuji Rock war der Gips zusätzlich noch mit einem Plasticsack vor Feuchtigkeit geschützt.

Synthostone wurde in einem Plasticsack, ohne Endverbrauchsdaten, Chargennummer und z. T. unklaren physikalischen Eigenschaften beschriftet, geliefert.

Diamant wird nur mit dem Namen und der Herstelleradresse beschriftet. Duricap ist in Kapseln vordosiert.

6. ZUSAMMENFASSUNG

6.1. Mischarten

- Mischen unter Vakuum kann, im Vergleich zum nur mechanischen Mischen, die Expansion minimal verkleinern, verlängerte aber z. T. die Abbindezeit leicht. Die blasenfreie Oberfläche wird durch die hier vorgenommenen Versuche kaum bewertet, und die Detailwiedergabe hängt eher von der Kristallgrösse ab. Bei den restlichen Versuchen war kein einheitlicher Einfluss festzustellen.
- Das länger dauernde Mischen von Hand verkürzte die Abbindezeit; die restlichen Eigenschaften wurden unterschiedlich beeinflusst.
- Das 5% Trimmerwasser verkürzte die Abbindezeit auf 27% (bei Diamant und Vel Mix Stone) bis 74% (Rapidur) des Vakuum-Wertes. Die Detailwiedergabe schien schlechter zu werden (ausser bei Vel Mix Stone), was sich aber anhand der REM-Aufnahmen widerlegen liess. Dieser Eindruck entstand vermutlich durch Kristallaggregate (ev. aus dem Trimmerwasser?), die auf der Oberfläche lagen. Die Abbindeexpansion wurde bei den konventionellen Gipsen eventuell minimal kleiner, bei den synthetischen jedoch eher grösser.
- Das 10% Trimmerwasser vergrösserte bei den synthetischen Gipsen die Expansion noch weiter, bei den konventionellen blieb sie etwa auf dem Niveau der 5% Konzentration (ausser bei Fuji Rock). Die Abbindezeit wurde weiter verkürzt (Vel Mix Stone auf 24%, Diamant auf 16% und Rapidur auf 58% des Vakuum-Wertes). Druck- und Biegefestigkeit sowie die Kugeldruckhärte wurden geringer, was aber z. T. auf die erhöhte Flüssigkeitsmenge zurückzuführen ist. Die Detailwiedergabe wurde gleich wie bei der 5% Konzentration beurteilt.

6.2. Abrasionsversuche

Es spielen hier andere Faktoren als Mischart, respektive verschiedene Trimmerwasserkonzentrationen eine Rolle. Was im Detail für die unterschiedlichen Ergebnisse verantwortlich ist, konnte im Rahmen dieser Versuche nicht festgestellt werden. Interessanterweise wies Diamant als schwächster Gips Rillentiefen auf, die sich etwa mit denjenigen von Tru Stone, Fuji Rock oder Ferrodur vergleichen liessen.

6.3. Vergleich synthetische - konventionelle Gipse

Die synthetischen sind den hier geprüften natürlichen Gipsen (ausser Fuji Rock) betreffend Druck- und Biegefestigkeit sowie Oberflächenhärte meist überlegen. Wegen der grösseren Abbindeexpansion von 0,17 bis 0,22% gehören Erstere jedoch höchstens zu den Typ III Gipsen. Die Unterschiede betreffend Detailwiedergabe sind unter den im dazugehörigen Kapitel erwähnten Vorbehalten zu betrachten. Die DIN-Spezifikation erfüllten sie alle. Kleinere Differenzen dürfen nicht überbewertet werden, denn es ist nicht bekannt, wie stark sich die Eigenschaften von Charge zu Charge verändern (siehe auch Expansion von Vel Mix Stone).

Die synthetischen Gipse sind angenehm zu verarbeiten, die Fließfähigkeit mit dem vom Hersteller angegebenen Wasser-Pulver-Verhältnis ist gut. Tru Stone und Super Die, in geringerem Masse auch Vel Mix Stone, waren im Vergleich dazu von recht dicker Konsistenz. Unerwartet fließfähig, berücksichtigt man die geringe Flüssigkeitsmenge von 20 ml, war Fuji Rock.

Wird die Expansion nach DIN und die Druckfestigkeit nach ADA-Spezifikationen bewertet, so gehören folgende Gipse zum

Typ IV: Fuji Rock, Tru Stone, Vel Mix Stone

Typ III: Synthostone, Tewestone (z. T.), Ferrodur (z. T.) und noch knapp Rapidur

(dies jedoch nur wegen der grösseren Expansion!)

Diamant und Duricap überschritten die zulässige Limite von 0,2% geringfügig.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- 1) American Dental Association
Guide to Dental Materials and Devices, 6th ed. 1972-73
- 2) Andreas M.
Die Beeinflussung der Umwandlung des Gipses von Dihydrat in das Halbhydrat durch Salzzusätze mit verschiedenen Kationenwertigkeiten. Dtsch. Zahnärztl. Z. 17: 1037, 1962
- 3) Craig R. G. / Peyton F. A.
Restorative dental materials
5th ed. 1975, Mosby, St. Louis, USA
- 4) Deutscher Fachnormenausschuss im DIN
Gips: Anforderungen, Prüfungen (DIN 13911)
Beuth GmbH, Berlin und Köln, April 1976
- 5) Deutsche Patentschriften
No. 1238374 Ausgabetag: 13. Nov. 1969
No. 1157128 Ausgabetag: 7. Nov. 1963
- 6) Docking A. R.
The Setting Process
Gypsum Research in Australia, Vol 15
- 7) Earnshaw R. / D. C. Smith
The tensile and compressive strength of plaster and stone.
Aust. dent. J. 11: 415, 1966
- 8) Earnshaw R.
The effect of restrictive stress on the setting expansion of gypsum bonded investments.
Aust. Dent. J. June 1964, 169
- 9) Franz G.
Werkstoffkundliche Untersuchungen zur Gipshärte und zum Dimensionsverhalten von Elastomer und Hartgips bei ihrem Kontakt.
(1. Teil). ZWR 86: 528, 1977
- 10) Franz G.
Abbindezeit von Gips
Dtsch. Zahnärztl. Z. 28: 677/1973, 1973

- 11) Hänel R.
Zusammenhänge zwischen Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit und Kugeldruckhärte verschiedener Dentalgipse in Abhängigkeit von Mischtechnik und Lagerung.
Med. Diss. Mainz 1973/74 (Prof. Marx)
- 12) Jörgensen K. D.
Study of the setting expansion of gypsum
Acta odont. Scand. 21: 227, 1963
- 13) Krebs R. / Marx H.
Messtechnische Probleme der Oberflächenreproduktion von Abformmaterialien. Dtsch. Zahnärztl. Z. 27: 610, 1972
- 14) Kusner W.
Final Expansion of Plaster
J. Dent. Res. 47: 694, 1968
- 15) Lautenschlager E. P. / Harcourt J. K. / Ploszaj
Setting Reaction of Gypsum Materials investigated by X-Ray-diffraction. J. dent. Res. 45: 43, 1969
- 16) Marx H.
Zur Relation zwischen Abbindeexpansion und realer Dimension von Gipsmodellen. ZWR 85: 528, 1976
- 17) Merkat von, H. E. / Klötzer W. T.
Materialeigenschaften gebräuchlicher Gipsprodukte und deren Prüfung. Dtsch. Zahnärztl. Z. 30: 194, 1975
- 18) Narita / Kobes L.
Der Einfluss des Trimmerwassers auf die Eigenschaften dentaler Hartgipse. Dtsch. Zahnärztl. Z. 30: 277, 1975
- 19) Pantke H. / Herrnsdorf U.
Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit von Duroc und Glastone Modellen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 21: 132, 1967
- 20) Phillips R. W.
Skinner's Science of Dental Materials. 7th Ed. 1973
W. B. Saunders Co, Philadelphia and London
- 21) Wirz J. / Castagnola L. / Gilomen H.
Werkstoffliche Untersuchungen von zahnärztlichen Hart- und Spezialhartgipsen. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 86: 977, 1976

- 22) Sweeney W. T. / Tailor D. F.

Dimensional changes in dental stone and plaster
J. Dent. Res. 29: 749, 1950

Herrn Prof. Dr. L. Castagnola und Prof. Dr. J. Wirz möchte ich für die Ueberlassung des Themas und für die Unterstützung dieser unter ihrer Leitung entstandenen Arbeit danken. Besonderen Dank gilt auch der Fa. Ivoclar (FL) für die Ueberlassung der Prüfgeräte, Herrn Wollwage und Herrn Schwarz für ihre Mithilfe.

Curriculum vitae

In Cochin (Kerala, Indien) wurde ich am 30. Juli 1950 als Sohn des Robert und der Ruth Nievergelt, geb. Aerne, geboren.

- Nach der Mittelschule (Typ B) in Davos und dem Studium der Zahnmedizin an der Universität Zürich (Staatsexamen Herbst 1975), arbeitete ich als Assistent in einer Privatpraxis in Glattbrugg ZH.

